À Mr Louis Schneegans.

Souvenir d'amitié et d'estime
de la part de l'auteur

11.

11.

ESSAI
SUR LES CAUSES DES VARIATIONS
DE
L'INTENSITÉ DES COURANTS GALVANIQUES.

THÈSE DE PHYSIQUE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE STRASBOURG,

ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT

Le Jeudi 24 février 1842, à 2 heures,

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES,

PAR

E. KOPP,

DE WASSELONNE (BAS-RHIN),

LICENCIÉ ÈS SCIENCES.

STRASBOURG,

IMPRIMERIE DE G. SILBERMANN, PLACE SAINT-THOMAS, 3.

1842.

PRÉSIDENT DE LA THÈSE,

M. FARGEAUD,

PROFESSEUR DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DES SCIENCES ET AU COLLÉGE ROYAL DE STRASBOURG.

STATUT UNIVERSITAIRE DU 9 AVRIL 1825.

ART. 41.

Pour chaque thèse le Doyen désigne un président parmi les professeurs, devant qui elle devra être soutenue. Ce président examine la thèse en manuscrit, il la signe et il est garant des principes et des opinions que la thèse contient, sous le rapport de la religion, de l'ordre public et des mœurs.

A MM. LES PROFESSEURS

FARGEAUD ET PERSOZ,

Hommage de reconnaissance et de respect, et témoignage d'attachement sincère.

E. KOPP.

FACULTÉ DES SCIENCES.

CHAIRES.	PROFESSEURS.
Mathématiques pures	MM. Sarrus, Doyen.
Mathématiques appliquées	Sorlin.
Physique	Fargeaud.
Chimie	Persoz.
Zoologie et physiologie animale	Lereboullet.
Minéralogie et géologie	Daubrée.

La Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend ni les approuver ni les improuver.

ESSAI

SUR LES CAUSES DES VARIATIONS DE L'INTENSITÉ

DES COURANTS GALVANIQUES.

INTRODUCTION.

Un demi-siècle s'est écoulé depuis que Volta, par la magnifique découverte de la pile qui porte son nom, a immortalisé sa mémoire; il y a un demi-siècle que son génie, embrassant les phénomènes si variés et si compliqués du galvanisme, les ramena tous à un principe unique, le développement de l'électricité par le contact de corps hétérogènes.

Depuis cette époqne les physiciens les plus célèbres ont continué et étendu l'œuvre de Volta : des travaux de la plus haute importance ont été publiés, des recherches consciencieuses ont été faites et se font encore de nos jours, et cependant malgré tous ces efforts, la théorie du galvanisme est aujourd'hui même la partie la plus obscure et la plus controversée de la physique entière.

Il n'a fallu que quelques années et les travaux de quelques hommes de génie, tels que Jung, Fresnel, Arago, Biot et autres pour assurer à la théorie des ondulations la victoire la plus décisive sur la théorie de l'émission de la lumière. Il n'en est pas de même de la théorie du galvanisme.

Peu d'années après que Volta eut posé les bases de sa théorie, quelques physiciens essayèrent d'expliquer par les actions chimiques les phénomènes qu'on attribuait exclusivement au contact.

Une théorie antagoniste prit ainsi naissance : ce fut la théorie électro-chimique. Longtemps l'ancienne théorie l'emporta sur la nouvelle ; mais dans ces derniers temps les travaux importants de Delarive, de Becquerel et surtout de Faraday firent pencher la balance en faveur de la théorie chimique et lui acquirent de nombreux partisans, surtout en France et en Angleterre.

Mais la victoire ne fut pas décisive : de part et d'autre les travaux se multiplièrent ; on s'attacha surtout aux phénomènes qui semblaient devoir fixer définitivement l'opinion des physiciens ; les expériences capitales et importantes furent répétées par les partisans des deux parties ; mais la plupart étant expliquées d'une manière plus ou moins naturelle par les deux théories, elles ne furent pas décisives.

De nos jours enfin, surtout par les travaux de Peclet, de Peltier en France, de Fechner, d'Ohm, de Pfaff et de Buff en Allemagne, de Jacobi et de Lenz en Russie, la théorie du contact semble se relever et reprendre sa supériorité.

Ce combat opiniâtre entre deux théories sur un des points les plus importants de la physique, loin d'être un obstacle aux progrès de la science, ne peut que lui être utile.

La discussion force à examiner toutes les questions ; elle réfute les opinions peu fondées ou erronées ; elle apprécie la valeur des expériences, en confirmant celles qui ont été faites avec les précautions nécessaires. Enfin elle appelle l'attention sur les faits extraordinaires qui semblent d'abord inexpliquables, mais dont un examen approfondi fait disparaître les anomalies apparentes.

Peut-être que le temps n'est pas éloigné où toute incertitude cessera, et où la vérité apparaîtra d'une manière décisive.

Une revue raisonnée et comparative de cette longue discussion serait certainement en ce moment un travail du plus haut intérêt et de la plus grande importance, mais en même temps d'une extrême difficulté, et qui exigerait un physicien du premier rang.

Ce n'est donc pas un travail de ce genre, et qui est bien au-dessus de mes forces, que je viens présenter dans ma thèse; mais l'examen attentif des différents phénomènes galvaniques conduit à l'expression de plusieurs lois générales qui semblent les dominer, et qui exigent par conséquent une étude plus sérieuse que celle qui en a été faite généralement jusqu'ici.

J'ai essayé de classer et de coordonner les principes disséminés dans des travaux et mémoires isolés, d'établir sur des faits l'expression générale d'un courant, d'en examiner les différentes parties, et enfin d'en faire l'application à quelques faits controversés, qui reçoivent par là une explication satisfaisante.

Cet exposé sera loin d'être complet, et même l'état actuel de la question rend la chose impossible; mais je désire seulement qu'il soit conforme aux progrès que la science du galvanisme a faits jusqu'à ce jour et qu'il puisse rendre attentif à des circonstances importantes, qui très-souvent ont été considérées dans les travaux publiés comme secondaires et de peu d'influence.

I.

RELATIONS ENTRE LE COURANT GALVANIQUE ET LES EFFETS QU'IL PRODUIT.

Les effets d'un courant peuvent se ranger en quatre classes principales :

Effets chimiques.
— magnétiques.
— thermiques.
— physiologiques.

Les deux premières dépendent de l'intensité du courant, les deux dernières de sa densité.

L'intensité du courant est exprimée par la quantité d'électri-

cité qui passe dans l'unité de temps par chaque section, soit de la pile, soit des conducteurs.

Les effets chimiques et magnétiques, tels que la décomposition des électrolytes, la déviation de l'aiguille aimantée et l'aimantation du fer doux, sont (d'après les expériences de Faraday, de Jacobi, de Fechner, de Lenz et de Pouillet), proportionnels à l'intensité du courant.

Quant aux effets thermiques et physiologiques, ils sont également proportionnels à l'intensité, mais en même temps aussi en raison inverse de la surface de la section et de la conductibilité des conducteurs.

L'ensemble de ces fonctions constitue la densité du courant.

Il en résulte que les deux premières classes d'effets dépendent de la quantité d'électricité qui passe dans l'unité de temps, par toute la surface d'une section; car tous les éléments de cette section concourent simultanément au résultat final.

Pour les deux dernières classes l'effet dépend de la quantité d'électricité qui se trouve dans chaque élément de la section, puisque l'action se manifeste dans ces éléments mêmes.

Ces considérations ne s'appliquent pas seulement aux courants continus, mais encore aux courants interrompus ou instantanés, tels que ceux produits par induction ou provenant de la décharge d'une bouteille de Leyde; mais alors il faut encore avoir égard à leur durée.

M. Pouillet, en opérant avec une roue, composée de plaques alternativement conductrices et isolantes et avec une vitesse telle qu'il s'écoulait 1/7000 de seconde entre le passage de deux plaques consécutives, trouva que la déviation de l'aiguille aimantée (le courant ne passant que dans la moitié du temps), était la moitié de celle qu'on obtenait par le même courant agissant d'une manière continue.

Dans le premier cas il y a 3500 courants, agissant chacun pen-

dant 1/7000 de seconde ; dans le second cas il y en a 7000, agissant également chacun pendant 1/7000 de seconde ; il en résulte évidemment que l'intensité du courant (c'est-à-dire la quantité d'électricité divisée par le temps pendant lequel le contact des plaques conductrices a lieu), reste la même, que celui-ci soit interrompu ou continu.

Donc la somme des effets, qui ont lieu dans un temps donné, doit être mesurée par la quantité d'électricité qui parcourt pendant ce temps le conducteur, tandis que l'effet qu'on observe dans un instant quelconque est proportionnel à l'intensité du courant, en supposant toutefois que sa durée soit assez longue pour que l'effet puisse atteindre son maximum.

L'électricité d'une batterie, quoique très-intense, ne peut pas produire des effets chimiques ou magnétiques considérables, parce que la quantité d'électricité, qui peut s'accumuler dans les conducteurs, est, à cause de la rapidité même de ce courant, infiniment moindre que celle produite par une pile galvanique.

Il faudrait pouvoir ralentir ce courant ; mais dans ce cas son intensité diminue également avec une telle rapidité, qu'elle n'est plus assez grande pour produire les effets désirés ou du moins ils sont excessivement faibles.

Ainsi, par exemple, on ne produit aucune décomposition d'un électrolyte en chargeant fortement cinq bouteilles de Leyde, tandis qu'en partageant la même électricité dans vingt-cinq bouteilles, il y a décomposition (quoique très-faible), le passage du courant se trouvant alors ralenti. (Riess, *Ann. de Poggendorf*, 47.)

Il n'en est pas de même pour les effets thermiques ou physiologiques, qui ne dépendent que de l'intensité du courant, quelle que soit d'ailleurs sa rapidité.

M. Pouillet ayant fait observer (*Traité de physique*), que ni la quantité, ni l'intensité d'un courant ne pouvaient caractériser ou définir les différentes sources électriques, a proposé à cet effet d'envisager la tension des sources électriques.

Il appelle *sources électriques de même tension* celles qui, dans le même circuit, donnent des courants de même intensité. Il s'ensuit donc que, dans le cas de circuits égaux, les sources électriques sont dans le rapport direct des intensités de courants, qu'elles peuvent produire, et par conséquent aussi dans le rapport des fonctions qui constituent cette intensité.

Pour les piles thermo-électriques, l'intensité augmentant en raison directe des différences de température de deux soudures, la tension de cette même source thermo-électrique sera proportionnelle à cette différence.

Pour les piles hydro-électriques les lois ne peuvent pas être aussi simples, comme le montre la formule qui exprime l'intensité d'un courant.

II.

LOIS GÉNÉRALES DU COURANT GALVANIQUE.

L'action du courant galvanique ne dépend pas seulement du développement plus ou moins considérable de l'électricité, tel qu'il a lieu pour la pile à l'état de tension, mais encore de la difficulté plus ou moins grande qu'éprouve cette électricité à passer par les différents conducteurs qu'elle doit parcourir.

La force du courant est donc une fonction :

1° De la force électro-motrice (quelle que soit d'ailleurs son origine) ; = A

2° De la résistance que présentent les différents conducteurs à se laisser parcourir par le courant, et qui est en raison inverse de leur conductibilité. = R

Or, la force de la pile étant en raison directe de la force électro-motrice totale en activité (que nous représentons par A), et en raison inverse de la résistance totale (représentée par R), on peut l'expri-

mer par le quotient de la force électro-motrice divisée par la résistance.

$$F = \frac{A}{R}.$$

Cette loi, énoncée pour la première fois par Ohm, fut confirmée par une foule de recherches et d'expériences d'Ohm, de Fechner, de Lenz, de Pfaff, de Jacobi et de Pouillet :

Ohm, *Ann. de Poggend.*, VI, 459; VII, 45, 47.

Ohm, *Kastnes Archiv*, XVI, 1, 452.

Fechner, *Maasbestimmungen.*

Pfaff, *Revision des Galvanismus.*

Lenz, *Poggend.*, 47.

La *force électro-motrice* totale est, en raison directe du nombre des éléments de la pile et de l'intensité que chaque élément possède, à l'état de tension, et sera par conséquent exprimée par le produit du nombre des éléments par l'intensité de chacun d'eux.

La *résistance totale* se compose de la somme des résistances partielles, que les parties que doit parcourir le courant opposent à son passage.

Les résistances partielles se composent :

1° De la résistance des conducteurs solides $= s$;

2° De celle des liquides $= l$;

3° D'une résistance particulière qui a son siége aux limites des corps solides et liquides, et qui réside dans la difficulté qu'éprouve le courant de passer de l'un à l'autre. C'est la résistance du passage $= p$.

On aura donc $$F = \frac{A}{s+l+p}.$$

Les grandeurs s, l sont en raison directe de la longueur, en raison inverse de la surface de la section, et dépendent en outre de la matière et de la température.

La grandeur p est en raison inverse des surfaces électro-motrices, et est d'autant moindre que le liquide attaque plus énergiquement les plaques métalliques. Elle augmente avec la durée du courant, de manière que c'est à elle qu'il faut attribuer en partie l'affaiblissement progressif de ce même courant. (Une autre partie dépend de la diminution de la force électro-motrice).

Cette expression de la force d'un courant permet d'en tirer quelques conséquences importantes.

En diminuant ou en augmentant la résistance d'une des parties de la pile, on augmente ou on diminue en même temps la force du courant, mais seulement dans le rapport de la résistance partielle à la résistance totale.

Si donc la résistance partielle n'est qu'une fraction très-petite de la résistance totale, son augmentation ou sa diminution n'influera pas sensiblement sur l'intensité du courant, tandis que le contraire aura lieu dans la supposition contraire. Nous en verrons des applications dans la théorie du multiplicateur magnétique.

En choisissant des conducteurs d'une conductibilité de moins en moins parfaite, ou, ce qui est la même chose, d'une résistance de plus en plus grande, on pourra diminuer l'intensité du courant à l'infini, et l'amener même à zéro.

Pour compenser cette résistance, il faudra augmenter dans le même rapport la force électro-motrice, et, en effet, Davy a montré qu'avec sa pile de deux mille éléments on pouvait établir le courant même à travers une couche d'air, qui est ordinairement considérée comme non conducteur.

En diminuant de plus en plus une résistance partielle, il est évident qu'on ne pourra pas augmenter à l'infini la force du courant; on atteindra bientôt une limite au delà de laquelle l'augmentation sera insensible, puisque la valeur de cette résistance partielle disparaîtra en comparaison de celle des autres résistances.

En effet, l'expérience montre qu'en augmentant les surfaces élec-

tro-motrices (diminution de p), ou en rendant les liquides meilleurs conducteurs (diminution de l), la force de la pile ne peut pas aller au delà d'un certain maximum, qu'on atteindra d'autant plus rapidement, mais qui sera aussi d'autant plus petit que s sera plus considérable.

M. Pouillet a démontré que la résistance que présente le corps humain, égale la résistance d'un fil de cuivre ayant onze lieues de longueur et un millimètre de diamètre.

Pour obtenir des effets physiologiques sensibles, il faudra donc augmenter la force électro-motrice, et par conséquent employer un grand nombre d'éléments : l'augmentation des surfaces ne sera presque d'aucune influence, la valeur de l étant excessivement petite en comparaison de s, qui représente la résistance du corps humain.

Pour obtenir de grands effets de chaleur, il faudra au contraire augmenter les surfaces et la conductibilité des liquides, parce que dans ce cas on emploie des fils très-courts; donc s sera très-petit. La valeur de F augmentera alors sensiblement avec la diminution de l et de p.

Il en est de même de l'action du multiplicateur, pourvu qu'il ne soit pas d'une longueur excessive; son action sera augmentée bien plus par l'accroissement des surfaces et par la conductibilité parfaite des liquides que par l'augmentation des éléments.

Enfin on peut encore expliquer par là la différence d'action des piles thermo-électriques et des piles hydro-électriques.

Dans les premières, il y a une force électro-motrice très-faible, mais par contre aussi une résistance très-peu considérable, parce que l et p sont zéro et s très-petit. En intercalant dans le circuit un liquide sur lequel doit agir le courant thermo-électrique, celui-ci sera affaibli dans une proportion bien plus grande que le courant hydro-électrique, pour lequel la résistance était déjà très-considérable, et qui par l'addition d'une nouvelle résistance n'éprouve qu'une faible diminution.

On sait que quel que soit le conducteur d'un courant, qu'il soit formé de métaux différents et ayant des épaisseurs inégales dans des parties diverses, en le faisant agir soit par son milieu, soit par ses extrémités sur une aiguille aimantée, celle-ci est partout également déviée par un même courant. Il en résulte que la force est la même, dans toutes les sections successives du conducteur, perpendiculaires à la direction de ce courant et indépendante de la nature et de l'étendue de cette section; par conséquent aussi :

1° Toute altération de la force du courant dépendante d'un changement soit de la force électro-motrice, soit de la résistance, se manifeste également dans toutes les parties de la pile;

Et 2° la quantité d'électricité qui parcourt une section, doit se concentrer d'autant plus que cette section a moins d'étendue.

Nous passerons maintenant rapidement en revue les différentes parties qui entrent comme fonction dans l'expression de l'intensité du courant.

A. FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.

La force électro-motrice peut se manifester de trois manières différentes.

Par l'action réciproque de deux corps solides ou de solides et liquides, et enfin de deux corps liquides.

Ordinairement la production d'un courant dépend au moins de deux de ces actions réunies, et même leur réunion est nécessaire pour obtenir un courant d'une certaine énergie.

Malheureusement ces questions n'ont pas encore été examinées à fond, et il règne à leur égard une grande incertitude dans la science. Ce n'est probablement qu'en cherchant à isoler soigneusement chacune de ces actions, et en les préservant de toute cause perturbatrice qu'on arrivera un jour à des notions précises et certaines.

1. *Developpement de l'électricité par le contact de deux corps solides hétérogènes.*

Le contact peut-il produire de l'électricité, indépendamment de toute action chimique? C'est là la grande question qui se débat encore entre les physiciens les plus distingués. Cette production d'électricité, alternativement affirmée et niée est en ce moment rejetée par les uns, admise par les autres.

Cependant de nos jours, elle semble ne pouvoir plus être mise en doute. Les expériences de Volta, de Becquerel (*Ann. chim. et phys.*, 46, 291), de Pfaff, de Peltier, et récemment de M. Peclet, sont tout à fait concluantes à cet égard. Et ne voyons-nous pas le frottement, la pression, les changements de température, le magnétisme produire de l'électricité, pourquoi le contact de deux corps hétérogènes ne pourrait-il pas en produire? On a admis longtemps que des décompositions chimiques dans le circuit de la pile ne pouvaient être la suite que de décompositions semblables exercées entre les éléments, et la loi de Faraday sur les équivalents électriques, semblait en être une confirmation victorieuse. Mais depuis Poggendorf a montré que cette loi était également vraie pour des courants magnéto-électriques, et encore plus récemment on a construit des piles thermo-électriques assez puissantes pour agir sur les électrolytes et les décomposer en leurs éléments.

Eh bien dans la source de ces deux espèces de courants, il n'y a certainement aucune action chimique, et cependant ils peuvent en produire.

Une des principales objections de M. Delarive a été l'expérience de deux lames de zinc et de cuivre soudées à leurs extrémités et recouvertes de vernis, au moyen desquelles il était impossible d'observer les plus faibles indices d'électricité au condensateur.

M. Pfaff, en répétant les expériences de Delarive, arriva à un résultat contraire, auquel ce physicien objecta que si la couche de

vernis était mince, il pouvait y avoir oxydation à travers les pores du vernis, qu'en rendant les couches plus épaisses tous les indices disparaissaient.

Mais on peut objecter avec raison à M. Delarive, que dans ce cas la faible tension de l'électricité n'est plus assez forte pour se manifester à travers une épaisse couche de matière parfaitement isolante, et qu'il ne pouvait plus y avoir de décomposition de fluide naturel par influence.

Ce serait comme si l'on voulait construire une bouteille de Leyde avec des parois en verre de quelques décimètres d'épaisseur; il est évident que dans ce cas on n'obtiendrait également aucun résultat.

Les phénomènes produits par la force électro-motrice sont trop connus pour qu'il soit nécessaire de nous y arrêter.

Nous ferons seulement quelques observations sur deux lois posées par Volta, et qui sont le point de départ de son explication de la pile voltaïque.

Il avait prouvé pour l'électricité à l'état de tension que la somme des forces électro-motrices d'une pile de plusieurs métaux mis en contact immédiat, était égale à celle des deux métaux extrêmes; cette loi a été confirmée par Fechner pour l'électricité à l'état de courant. En effet, en mesurant, par exemple, les forces électro-motrices de deux piles, l'une formée de quatre éléments, zinc-étain, étain-cuivre, et l'autre simplement de zinc-cuivre, il trouva qu'elles étaient parfaitement égales en employant le même liquide acidulé.

Quant à la distribution de l'électricité dans les éléments, Volta avait admis qu'elle avait la même intensité sur tous les points de chaque élément, et ce principe lui servit de base, ainsi qu'à presque tous les auteurs de traités de physique, pour expliquer la théorie de la pile. Cependant on avait remarqué de bonne heure que l'intensité de l'électricité à l'état de tension, à l'extrémité d'une pile était bien inférieure à celle qu'elle devait être d'après la théorie, et M. Biot proposa d'envisager la pile non comme une batterie ordi-

naire, mais comme une batterie disposée en cascade, ou en d'autres termes il admit une condensation réciproque des deux électricités au point de contact.

Cette hypothèse fut confirmée plus tard par les expériences de Fechner, qui prouva que l'intensité de l'électricité aux points de contact était bien plus grande que celle qui se répandait à des distances sensibles sur les autres parties du métal, de manière que la distribution de l'électricité était la même que celle de deux plateaux condensateurs, séparés par une couche extrêmement mince d'un corps non conducteur.

A cet effet on n'a qu'à charger un condensateur d'abord directement, en séparant les deux métaux hétérogènes et mettant l'un d'eux en contact avec le plateau collecteur, ensuite en les laissant en contact et se servant d'une plaque auxiliaire pour transporter la charge au condensateur. On trouve toujours que dans le premier cas l'intensité est incomparablement plus considérable que dans le second.

On peut maintenant facilement concevoir pourquoi la même pile montre des quantités d'électricité si différentes, suivant qu'on la mesure à l'état de tension ou à l'état de courant.

Cette condensation explique encore pourquoi en mettant en contact, par exemple, une plaque de cuivre avec le pôle zinc d'une pile faible, le cuivre puisse indiquer à l'électromètre soit de l'électricité positive, soit de l'électricité négative, soit aucune trace d'électricité, suivant que le contact a lieu par une petite surface, soit par une grande, soit par une moyenne entre les deux.

2. *Développement de l'électricité par l'action réciproque de corps solides et liquides.*

Cette question est sans contredit la plus vaste et la plus féconde du galvanisme, mais en même temps la plus obscure et la moins étudiée.

L'incertitude à son égard ne provient pas du manque de travaux, au contraire, ils sont très-nombreux ; mais ou bien ils se contredisent les uns les autres, ou bien le manque de certaines précautions indispensables rend les résultats incertains et contestables.

Il faut convenir aussi que les recherches sur cette matière sont extrêmement difficiles et exigent des expérimentateurs bien exercés.

Une discussion étendue ne serait autre chose qu'une appréciation de la valeur des deux théories électriques, et, comme nous l'avons déjà dit, nous ne pouvons nous hasarder à porter un jugement sur des théories émises par des hommes aussi éminents que Faraday, Becquerel, Delarive et autres.

Nous ne pourrons qu'indiquer les points principaux à cause de leur influence sur le développement des courants et leur intensité.

Ce sont :

1° Phénomènes généraux du développement de l'électricité par l'action des solides et liquides;

2° Hétérogénéité des métaux homogènes par l'action du même liquide ou de liquides différents;

3° Polarisation des métaux ;

4° Passivité des métaux ;

5° Inversion des courants dans les liquides de même nature et avec les mêmes métaux.

A. *Développement de l'électricité.*

Les faits généraux, qui ont surtout été étudiés par Pfaff (*Revision des Galvanismus*), sont les suivants :

1° Le développement de l'électricité n'est dans aucun rapport avec l'action chimique. Même lorsque celle-ci manque totalement, il y a souvent tension électrique très-considérable. Ainsi de l'acier plongé dans de l'acide nitrique très-concentré, qui ne l'attaqua aucunement, conserva pendant plus de quinze jours une tension positive, supérieure à celle produite par un couple de cuivre-zinc. Le

plomb resta positif dans l'acide sulfurique concentré ; l'or, le platine, très-négatifs avec une solution de potasse caustique. Au contraire, du zinc plongé dans de l'acide hydrochlorique, qui l'attaquait violemment, ne manifeste qu'une très-faible tension négative, et l'ammoniaque excita bien plus fortement le zinc, l'étain et même l'argent que le cuivre.

2° Quant à la nature de l'électricité développée, on observe :

a) Que les liqueurs alcalines rendent en général tous les métaux électro-négatifs, et la tension est la plus forte pour les métaux qualifiés ordinairement de positifs. L'ordre est à peu près le suivant :

1) Potasse caustique. Solution de p. sp. 1,330, ainsi que soude caustique.

Sn, Zn, Sb, Pb, Cu, Au, Pt, Bi, Acier, Ag.

2) Solution d'ammoniaque. p. sp. 0,950.

Zn, Sn, Pb, Ag, Fe, Cu.

b) Quant aux acides, s'ils sont étendus, les métaux se chargent d'électricité négative, tandis que le liquide prend l'électricité positive ; mais lorsqu'ils sont concentrés, l'action est différente ; pour l'acide nitrique, les métaux deviennent généralement positifs; pour les acides sulfurique et hydrochlorique, ils se divisent en deux groupes, positifs et négatifs.

1) Acide nitrique. p. sp. 1,498.

Acier, platine, or, Pb, Sn, Cu se montrèrent très-positifs ;

Fe doux, Sb, Zn faiblement négatifs.

2) Acide sulfurique 1,848.

Positifs : Pb, Ag, Or, Pt, Cu, Fe.

Négatifs : Sb, Sn, Zn.

3) Acide hydrochlorique : p. sp., 1,24.

Positifs : Acier, Pt, Au, Ag.

Négatifs : Zn, Sn, Pb, Sb, Cu.

3° La tension électrique, manifestée au condensateur par un même nombre de transports, est très-différente, suivant les liquides ou les métaux employés.

En général, elle est beaucoup plus faible que celle produite par le contact de deux corps hétérogènes, tels que Zn et Cu, excepté pour les alcalis caustiques, les sulfures alcalins et plusieurs autres.

c) Quant aux solutions salines, dans la grande majorité des cas, les métaux se chargent de l'électricité qu'ils prendraient par le contact immédiat avec le métal qui forme la base du sel.

Ainsi, par exemple, dans une solution de nitrate argentique, tous les métaux deviennent positifs, excepté le platine qui se charge d'électricité négative.

Au contraire, avec une solution de chlorure stanneux tous les métaux devinrent négatifs, excepté le zinc, qui devint fortement positif.

4° En plongeant dans le même liquide, sans les mettre en contact, deux plaques de métaux différents, qui isolément deviendraient négatifs, mais avec des tensions différentes, la tension positive du liquide étant alors forte, neutralisera l'électricité négative du métal dont la tension est la plus faible, et lui communiquera l'électricité positive, ou du moins affaiblira beaucoup sa tension négative. Ainsi, par exemple, en plongeant à la fois Zn et Cu dans un liquide, le Zn sera électrisé négativement, tandis que le cuivre le sera positivement.

B. *Hétérogénéité de métaux homogènes par l'action des liquides.*

Les résultats précédents sont loin d'être constants lorsque les circonstances viennent à varier tant soit peu ; aussi le temps pendant lequel le métal plonge dans le liquide, l'action particulière que celui-ci exerce soit chimiquement, soit physiquement sur ce métal, la

concentration des solutions, leur température, etc., toutes ces circonstances peuvent faire varier les résultats.

La passivité et la polarisation des métaux en sont des exemples frappants. Ainsi (*Ann. de Poggendf.*, 47, 32; 48, 267) Fechner observa que le platine éprouve dans l'acide nitrique une modification négative qui va en augmentant; dans une solution de potasse caustique, au contraire, une modification positive qui va en diminuant.

Il en est de même du cuivre, du fer, du zinc, et probablement de la plupart des autres métaux; pour en donner un exemple, il produisit un courant en plongeant à la fois du Fe et du Pt dans une solution de potasse caustique. Ce courant était plus faible lorsque le Pt séjournait dans la liqueur avant le fer, au contraire plus fort lorsque le fer y séjournait quelques minutes avant l'introduction du Pt.

De même on peut obtenir des courants avec deux plaques homogènes de Pt plongées dans la même solution, soit potasse caustique, soit acide nitrique, pourvu qu'on ne les plonge pas en même temps.

On conçoit donc aisément que des plaques d'abord homogènes, plongeant l'une dans une solution alcaline, l'autre dans une solution acide, acquièrent bientôt une hétérogénéité assez grande pour produire des courants d'une certaine énergie.

En général, dans les liquides étendus, il y a courant inverse à celui des liquides concentrés.

Dans plusieurs cas, les courants sont opposés, selon qu'on laisse un intervalle plus ou moins grand entre l'introduction de la première et de la seconde plaque, et ces résultats sont constants, même en intervertissant les plaques.

Le même liquide peut exercer sur des métaux différents une action bien diverse. Ainsi, par exemple, une solution de chlorure sodique, après trois minutes d'intervalle, rend négatifs les métaux suivants, Pt, Ag, Sn, Pb; elle rend positifs Cu, Fe, Sb, tandis que le Zn, distillé, passe successivement du positif au négatif.

Comme un exemple bien remarquable, nous citerons l'expérience suivante :

En plongeant dans une solution de nitrate argentique à la fois une lame de fer et une de cuivre, le fer devient d'abord passif, l'argent se précipite sur le cuivre qui se dissout, et il se manifeste un courant assez énergique. Bientôt après le courant diminue, surtout lorsque le précipité d'argent peut s'étendre vers le fer, puisqu'alors une partie du courant peut passer par l'argent du fer au cuivre; puis, tout à coup il y a changement de caractère électrique, le fer devient positif, et l'argent et le cuivre se précipitent à l'état métallique, tandis que le cuivre devient positif.

Toutes les fois qu'on voudra observer des courants de peu d'intensité, il faudra s'assurer d'avance qu'il y a homogénéité entre les plaques métalliques (soit de platine qui est le plus souvent employé, soit d'un autre métal) qui doivent communiquer le courant au multiplicateur.

Cette circonstance est plus difficile à remplir qu'il ne semble au premier abord. Même en coupant deux plaques, l'une à côté de l'autre dans la même fenille métallique, il arrive rarement que plongés dans un même liquide conducteur, ils n'indiquent la présence d'un courant très-faible. Pour des feuilles de platine, on arrive à les rendre homogènes en les faisant rougir, les nettoyant avec du sable fin humecté, et les essuyant avec un linge fin.

Mais pour des feuilles de cuivre, de zinc, de fer, surtout lorsqu'elles ont déjà servi à des expériences antérieures, dans lesquelles elles se sont trouvées dans des circonstances différentes, il est rare qu'on arrive à les rendre complétement homogènes.

Même le zinc amalgamé présente cette difficulté.

Cependant il est assez facile de s'assurer, dans les expériences, si les courants observés proviennent des réactions qu'on examine ou des plaques métalliques. On n'a qu'à intervertir leur ordre; si le courant reste dans le même sens, en faiblissant ou augmentant sen-

lement tant soit peu, il est dû au phénomène qu'on étudie; si au contraire il est renversé, on peut être sûr que c'est l'hétérogénéité des feuilles métalliques, qui en était la source principale.

C. *Polarisation des métaux et des conducteurs liquides.*

La polarisation qui consiste dans le caractère électrique, soit positif, soit négatif, que prend un conducteur par une cause quelconque, est de deux natures bien différentes.

1° La polarisation réelle, qui a lieu, lorsque le corps polarisé est entièrement exempt de matières étrangères, et qu'il transmet son caractère électrique à ses plus petites molécules.

2° La polarisation apparente, qui est produite par des particules étrangères fixées à un corps, et qui par leur caractère électrique propre, transmettent passagèrement à ce corps la même polarité. Celle-ci disparaît, lorsque par les réactions ou par des opérations physiques, les parties étrangères sont enlevées.

On est obligé de reconnaître ces deux espèces de polarisations, pour pouvoir comprendre la passivité des métaux et pour expliquer les nombreuses contradictions qui se trouvent dans les mémoires publiés sur ce sujet.

La cause de cet état particulier des corps est d'abord, comme nous l'avons déjà dit, l'action de certains liquides sur les solides; mais une aûtre cause, bien plus fréquente et plus importante, c'est le courant électrique lui-même. En effet, le courant secondaire, soit de la pile ordinaire, soit de celle de Ritter, n'est autre chose que le résûltat de la polarisation des éléments du liquide conducteur par le courant primitif.

On avait d'abord cru, que le courant secondaire, manifesté par des fils de platine, qui avaient servi de pôles à une pile, ne pouvait avoir lieu qu'autant que les fils plongeaient dans une solution saline. Dans cette circonstance, le sel se décompose, son acide s'accumule à l'un des pôles, la base à l'autre. En faisant cesser le courant pri-

mitif, et mettant les fils dans un liquide conducteur, l'acide et l'alcali s'unissaient de nouveau, et produisaient un courant allant du pôle chargé de base vers le pôle chargé d'acide, et par conséquent opposé au premier.

Mais le phénomène de la polarisation n'est pas aussi limité; on peut l'observer tout aussi bien avec des liquides purement acides ou purement alcalins.

M. Schœnbein, qui s'est surtout occupé des phénomènes de ce genre, avait observé la polarisation de fils d'or, d'argent, de platine, de cuivre argenté, de zinc et de fer dans de pareils liquides.

En opérant avec l'acide hydrochlorique renfermé dans un tube de verre recourbé en U, il reconnut qu'elle existait non-seulement pour les fils conducteurs, mais aussi pour les parties du liquide. Avec cet acide, la polarisation du liquide l'emporte sur celle des fils, tandis que pour l'acide sulfurique, c'était celle des fils qui était la plus considérable.

Avec l'acide sulfurique étendu, il lui semblait que la polarisation de liquide, quoique plus faible au commencement, était plus permanente que celle des fils, et finissait par dominer au bout de quelque temps.

Un fait très-curieux qu'il observa, fut la persistance de la polarisation des branches du tube contenant l'acide hydrochlorique, même après avoir fait bouillir celui-ci pour en chasser les particules d'hydrogène et de chlore qui auraient pu y rester en solution à froid.

Cependant ce fait n'est qu'exceptionnel, et dans la majorité des cas, ce sont les éléments du composé électrolyte, qui produisent le phénomène.

Nous verrons plus loin que cette polarisation est une des causes de l'affaiblissement rapide d'une pile ordinaire, puisque par la décomposition du liquide conducteur ses éléments se disposent sur les plaques métalliques voisines, et produisent ainsi un courant secondaire opposé au premier, et d'une assez grande intensité.

Le rétablissement partiel de l'action primitive par l'ouverture de la pile, de même que par l'élévation des plaques, surtout de la négative et par l'agitation du liquide, provient de la réunion des éléments et de la destruction du courant secondaire.

D. *Passivité des métaux.*

La polarisation de certains métaux, en changeant leur caractère électrique, altère en même temps leur action sur certains agents chimiques, et empêche ainsi des réactions qui se produisent dans l'état ordinaire. C'est ce qui constitue la passivité; le fer, par exemple, qui, à l'état ordinaire est très-oxydable, absorbe l'oxygène à l'état naissant, et décompose l'acide nitrique; rendu passif, il prend un autre caractère; l'oxygène ne s'y combine plus que très-difficilement, il ne décompose plus l'acide nitrique; en un mot, il devient un métal semblable au platine. Il en est de même de l'étain, du bismuth et probablement de plusieurs autres métaux.

L'acide nitrique très-concentré, est le liquide qui jouit au plus haut degré de la faculté de rendre passifs les métaux mis en contact avec lui.

Quant à la cause intérieure qui produit cette polarisation ou cette passivité, elle est encore extrêmement obscure, et même les phénomènes si variés que nous offre cet état particulier, ainsi que les circonstances si diverses dans lesquelles les métaux passent de l'état actif à l'état passif et réciproquement, manquent encore aujourd'hui d'une explication générale qui puisse s'appliquer à tous les cas. Il est de même extrêmement difficile de décider si le métal passif est rendu tel par la présence d'une pellicule très-mince d'oxyde qui le recouvre, ou s'il est réellement entièrement à l'état métallique.

L'aspect brillant des métaux passifs dans l'acide nitrique, par exemple, semble motiver en faveur de la dernière supposition. Quant à l'action d'un métal négatif sur un métal positif, placé dans un liquide qui peut réagir sur lui, on observe généralement que par le con-

tact l'action de l'acide oxygéné sur le métal positif, est augmentée si l'acide est assez étendu pour que l'oxydation se fasse au moyen de l'eau; qu'au contraire elle est diminuée lorsque l'oxydation a lieu aux dépens de l'acide. Il en est de même de l'action du courant voltaïque.

Cette propriété des métaux, et surtout du fer, peut devenir d'une application importante dans la construction des piles galvaniqnes. Rien n'empêche de construire des batteries énergiques avec un seul métal, par exemple le fer, pourvu que les plaques remplaçant le cuivre, fussent rendues passives, tandis que les autres conservent leur état naturel.

Pour cela on n'a qu'à adopter la construction de la pile de Daniel ou de celle de Grove. Un grand vase cylindrique en fonte contiendrait un second en terre cuite poreuse, et celui-ci un nouveau cylindre de fonte massif, réuni au premier par une anse métallique. L'intervalle du premier cylindre au vase en terre serait rempli d'acide nitrique concentré; l'intervalle du cylindre de terre au cylindre massif serait occupé par de l'acide sulfurique étendu.

Avec quelques éléments pareils on obtiendrait certainement une pile très-énergique.

Il est probable que la passivité des métaux trouvera tôt ou tard une application dans les arts.

E. *Inversion des courants.*

Les observations sur les modifications successives qu'éprouvent les métaux de la part des liquides, expliquent ce phénomène en apparence si paradoxe de l'inversion d'un courant par les mêmes métaux et dans les mêmes liquides. C'est surtout dans les liquides concentrés qu'il s'observe.

En effet, si par l'action de ce liquide l'un des corps est modifié de manière à ce que, d'abord négatif, cette négativité diminue de plus en plus, tandis que pour l'autre corps l'état positif diminue égale-

ment de plus en plus et peut même passer au négatif, il en résultera qu'au bout d'un certain temps le courant, qui s'était affaibli graduellement, aura dû s'intervertir et aller de ce moment en augmentant.

Il va sans dire que ce fait ne s'observe que pour des courants de peu d'intensité.

3. *Développement de l'électricité par l'action réciproque de deux liquides.*

Les expériences qui servent à constater le développement d'électricité par l'action de deux liquides hétérogènes, sont extrêmement délicates et exigent beaucoup de précaution.

Il faut se prémunir surtout ;

1° Contre l'action électro-motrice qu'exercent les liquides sur les conducteurs solides (fils des multiplicateurs, etc.).

2° Contre les changements qu'éprouvent les métaux dans leur force électro-motrice en plongeant dans des liquides différents.

3° Contre l'hétérogénéité des métaux.

C'est pour n'avoir pas pris toutes ces précautions qu'il y a eu si longtemps divergence d'opinion parmi les physiciens sur la pile de Becquerel et les causes de son action.

Cette pile consiste en deux liquides de caractère chimique opposé, solution de potasse caustique et acide nitrique, qui sont mis en communication et dans chacun desquels plongent des fils de platine.

Les partisans de la théorie chimique attribuent tout le dégagement d'électricité à l'action chimique qui s'exerce entre l'acide et l'alcali. C'est l'opinion de MM. Becquerel et Delarive.

D'après d'autres partisans d'une modification de la théorie chimique (Faraday, etc.), comme tout courant n'est produit que par une décomposition et qu'ici il n'y a que combinaison, il ne doit pas y avoir de courant.

Enfin les partisans de la théorie du contact admettent l'existence d'un courant, mais produit surtout dans la pile citée, par l'action électro-motrice, occasionnée par le contact du platine avec des liquides hétérogènes et en petite partie par le contact des liquides.

Quant à la propriété dont jouit ce courant, de pouvoir décomposer l'eau, sans produire des phénomènes thermiques, cela s'explique facilement par la formule du courant

$$F = \frac{A}{s + l + p}.$$

Pourvu que A ne soit pas trop petit, F aura toujours une certaine valeur, puisque

1° La résistance s des conducteurs est très-petite.

2° Celle du liquide l est également très-petite.

Celle du passage p est la plus considérable, puisqu'il n'y a pas d'action chimique entre le liquide et les fils conducteurs.

Si au lieu du conducteur s, on en prend un autre n fois plus grand, la valeur de s étant très-petite, ns sera aussi très-petit, le dénominateur ne sera donc pas sensiblement changé, et par conséquent l'aiguille du multiplicateur indiquera encore un courant à peu près de la même intensité.

Mais en augmentant les surfaces de platine, p étant divisé par l'augmentation, le dénominateur presque entier était aussi divisé, et par conséquent F multiplié dans le même rapport.

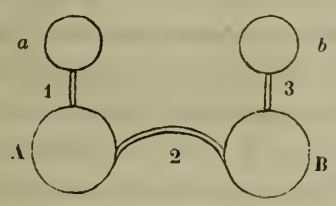
Or le dégagement de gaz étant proportionnel à F, il est tout naturel qu'il augmente dans le rapport des surfaces métalliques. L'absence de chaleur dans les conducteurs provenait de ce que la valeur totale de F était petite, A n'étant que peu considérable.

Si dans la pile ordinaire, les effets thermiques accompagnent toujours les effets chimiques, c'est que A est toujours considérable, mais aussi le dénominateur est assez grand, parce qu'il y a une résistance considérable entre les éléments, et que la résistance du pas-

sage augmente par l'alternance nombreuse de plaques métalliques et de liquide.

On voit d'après cela que la question du développement d'électricité par l'action réciproque de deux liquides, a pu rester sans solution, malgré les travaux nombreux de MM. Nobili, Becquerel, Pfaff, Mohr, etc., aussi longtemps que l'influence des solides n'avait pas été examinée jusque dans ses dernières conséquences. C'est ce qui a été fait par Fechner (*Ann. de Poggd.*, 48, 1, 2) dans un mémoire sur la pile de Becquerel et le développement d'électricité par deux liquides.

Sa méthode d'observation fut la suivante :



Les vases en verre *a* et *b* étaient toujours remplis par le même liquide (eau de puits, eau saline ou acide, etc.). Fechner les appelle vases conducteurs, et les feuilles métalliques y plongent.

Les vases A et B recevaient les liquides dont on voulait examiner l'action. Ce sont les vases *excitants;* 1, 2, 3 sont des siphons capillaires qui établissent la communication entre les vases.

Ordinairement le niveau des vases *a* et *b* était plus élevé que celui de A et B, pour éviter l'action des liquides contenus dans ces vases sur les feuilles métalliques. Les siphons 1, 3 étaient remplis des liquides de *a* et *b*.

Le fil du multiplicateur employé était excessivement long (10,000 pieds) pour rendre insensibles des variations de *l* et de *p*, provenant des colonnes étroites de liquide à parcourir et du passage de l'électricité du liquide aux feuilles de platine.

Les plaques métalliques étaient soigneusement nettoyées avant

chaque expérience et un essai préalable constatait leur homogénéité.

Si le liquide de *a* et *b* est le même que celui du siphon 2, il n'y a aucune action, parce qu'alors les liquides hétérogènes placés dans A et B se trouvent en contact des deux côtés avec le même liquide.

Si au contraire le siphon 2 était rempli de l'un des liquides de A ou B, il y avait action.

LIQUIDE DE *a* ET *b*.	LIQUIDE DU SIPHON.	LIQUIDE DE A.	LIQUIDE de B.	DÉVIATION.
1) Nitre.	Nitre.	Acide nitrique.	Potasse.	0
2) »	Acide nitrique.	» —	» +	41
1) Sel marin.	Sel marin.	Sulfate cuivrique.	Sulfure potassique.	0
2) »	Sulfate cuivrique.	» +	» —	147
1) Sel marin.	Sel marin.	Acide hydro-chlorique.	Potasse.	0
2) »	Acide hydro-chlorique.	» —	» +	16
1) Sulfate sodique.	Sulfate sodique.	Acide sulfurique.	Potasse.	0
2) »	Acide sulfurique.	» —	» +	45

Le courant produit diminue avec la plus grande rapidité, et on pourrait en chercher la cause dans la couche de sel neutre, qui se forme par l'union de l'acide avec l'alcali, puisqu'en effet en éloignant le siphon 2, et le remplaçant par un autre semblable rempli de liquide, l'intensité du courant primitif reparaît presque entièrement.

Mais un examen plus attentif montre que cette diminution provient de la polarisation en sens contraire des plaques de platine.

En effet en réunissant par un siphon les vases conducteurs, après avoir enlevé 1 et 3, on obtient un courant en sens inverse du premier.

Dans une expérience, *a* et *b* contenaient de l'eau de puits, A de l'acide sulfurique — et B du chlorure sodique +. Il y eut déviation de l'aiguille, d'abord de 27°, puis 23°, puis 20°; lorsqu'elle n'était plus que 10°, on remplaça le siphon 2 *rapidement* par un siphon

frais. Il n'y eut aucune augmentation de déviation. En faisant communiquer les vases conducteurs, il y eut un courant énergique en sens inverse.

Après que celui-ci eut disparu, le siphon des vases conducteurs fut enlevé et celui des vases excitants rétabli, sans l'avoir rempli de nouveau et sans en avoir essuyé les extrémités. Sa déviation fut de nouveau de 27° vers l'acide sulfurique.

De ces faits il résulte incontestablement que l'action réciproque de deux liquides produit un courant, mais bien plus faible que celui de la pile de Becquerel, dans laquelle les plaques métalliques plongent elles-mêmes dans les liquides excitateurs.

M. Fechner trouva que le rapport des courants produits :

1° Par zinc et cuivre dans une solution de nitre;

2° Par deux plaques homogènes de platine, dont l'une plonge dans de l'acide nitrique et l'autre dans une solution de potasse caustique, est comme 13,101 : 3,644.

Et celui des courants de ces mêmes plaques, mais plongeant

1° Dans les liquides excitateurs directement;

2° Dans des liquides conducteurs intermédiaires comme 8,644 : 0,140.

En outre on obtint souvent, comme par exemple avec le sulfate cuivrique et le sulfure potassique des courants en sens inverse, suivant qu'on opérait en faisant plonger les plaques de platine directement, ou seulement dans les intermédiaires.

Dans le premier cas on obtint une déviation de 128° dans la direction du sulfate cuivrique qui était négatif.

Dans le second cas, il y eut 80° dans le sens du sulfure potassique, qui était alors négatif.

La grande influence des liquides sur les métaux dans ces sortes de piles, se montre encore par les différences des déviations obtenues avec les mêmes liquides, suivant qu'on employait un métal ou un autre.

Il arrive souvent que c'est précisément avec les métaux les plus négatifs, c'est-à-dire les moins altérables, qu'on obtient les plus fortes valeurs.

Ainsi, par exemple, un vase avec du sulfure potassique fut mis en communication avec de l'eau ordinaire au moyen d'un siphon rempli de ce dernier liquide, et dans les vases furent placées des plaques homogènes de platine, cuivre, etc.

Les plaques placées dans le sulfure potassique étaient positives, et les déviations de l'aiguille furent :

Pour le platine	136	+19,5
— cuivre.	134,7	+11,3
— bismuth pur . . .	91,8	+ 2,8
— antimoine pur. . .	77,5	+13,8
— étain purifié. . . .	58	+15
— plomb	49,5	—3,4
— zinc distillé	35,5	—33

Les nombres de la première colonne indiquent la marche extrême de l'aiguille au premier instant, ceux de la seconde colonne marquent son point d'arrêt dans son mouvement d'oscillation rétrograde. La moyenne des deux donne à peu près la déviation fixe.

Quant à la production elle-même de l'électricité par deux liquides hétérogènes, nous remarquons d'après les expériences :

1° Que la grandeur de la surface de contact des liquides est sans influence ;

2° Qu'il n'existe pas de résistance de passage d'un liquide à l'autre, ou si elle existe, sa valeur est extrêmement petite ;

3° Que la différence de niveau est sans influence ;

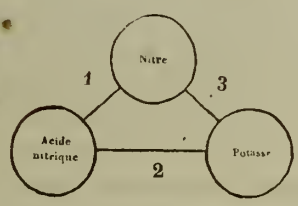
4° Que la nature du liquide du siphon 2 est sans influence, pourvu que ce soit un de ceux contenus dans les vases excitants.

Si ce liquide est le même que celui des vases conducteurs, l'action est nulle ; s'il est différent, on pourra obtenir des courants différents en intensité et même en direction.

Par exemple, de l'acide sulfurique et une solution de chlorure ammonique se trouvaient entre des solutions de nitre et des plaques de cuivre. Le siphon n° 2 étant rempli d'acide sulfurique, il y eut déviation vers l'acide sulfurique de 71°,5 à 16°,8; rempli de sulfate sodique, déviation de 64°,3 + 5° vers le sel ammoniaque; rempli de potasse caustique, 24°,9 + 9°,5 vers le sel ammoniac encore; rempli d'acide chlorhydrique, déviation considérable vers l'acide sulfurique.

5° Que le courant doit toujours conserver la même direction, en substituant au liquide des vases conducteurs le liquide d'un des vases excitants et réciproquement.

En effet, les vases conducteurs sont proprement tout aussi bien excitants que les autres; car dans une disposition dans laquelle on a par exemple de l'acide nitrique et de la potasse caustique entre du nitre, la chose se passe comme si l'on avait la disposition suivante :



La séparation du vase avec la solution de nitre en deux et leur réunion par les fils du multiplicateur, ne l'empêche pas d'avoir dans l'acte de la production du courant une part analogue à celle des vases excitants.

6° Que le choix des métaux n'est pas sans influence à cause de leur différence à se polariser, à redevenir homogènes, à conduire le courant ou à le laisser passer du liquide dans le corps solide, etc. Ainsi, par exemple, le platine offre une action moindre et une diminution plus rapide que les autres métaux.

7° Que l'augmentation de surface des métaux plongeant dans les liquides, a une influence marquée sur l'intensité du courant. Ce qui

prouve que la différence observée avec les différents métaux réside surtout dans la résistance du passage qui varie suivant le métal dont on fait usage.

8° Que l'intensité du courant produit par deux liquides seuls est insuffisante pour produire une décomposition chimique.

De ce qui précède il résulte que le contact de deux liquides peut produire un courant électrique : ce courant ne se manifeste que par des effets très-faibles, mais ce qui n'autorise pas à en conclure que le développement de l'électricité soit plus faible que celui produit par deux corps solides ; au contraire, on serait tenté à le croire plus considérable, en considérant que des piles formées seulement de métaux hétérogènes ne produisent absolument aucun courant en vertu de la loi des tensions électriques. Mais l'existence du courant et sa faiblesse pour deux liquides hétérogènes peuvent s'expliquer en admettant que pour les liquides cette loi n'existe pas aussi parfaitement que pour les solides, ou bien que, même en y étant soumis, il résulte de leur action réciproque des effets secondaires, effets chimiques, de polarisation, etc., qui détruisent l'équilibre et manifestent ensuite leur action, soit sur le multiplicateur, soit sur le condensateur.

B. RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS SOLIDES.

Nous avons déjà vu que la résistance des conducteurs solides est l'inverse de leur conductibilité, et qu'un corps est d'autant meilleur conducteur qu'il présente moins de résistance au courant.

Des expériences nombreuses de MM. Ohm, Fechner, Pouillet, Lenz, etc., il résulte :

1° Que la résistance augmente proportionnellement à la longueur du fil ; ainsi soit l la longueur primitive du fil métallique, nl sa longueur multipliée, r la résistance réunie des autres parties de la pile à l'exception du fil conducteur, on aura :

$$F = \frac{A}{r + nl}.$$

2° Pour des fils de même nature et de même longueur la résistance est en raison inverse des sections faites perpendiculairement à la direction de ces fils.

3° Lorsque deux conducteurs homogènes de longueur différente sont adaptés aux deux pôles de la pile, de manière que le courant soit obligé de se partager entre eux, la quantité d'électricité qui parcourt chacun est en raison inverse de sa longueur.

4° Deux conducteurs l, l', qui servent à transmettre simultanément le même courant, produisent le même effet, quant à la force totale du courant, qu'un conducteur unique de la longueur $\frac{l\,l'}{l+l'}$.

On sait en effet que deux ou trois fils homogènes de même longueur et épaisseur, déchargeant en même temps une pile, agissent comme un fil unique homogène de la même épaisseur, mais qui n'a que la moitié ou le tiers de la longueur de chaque fil.

La résistance des différents corps solides étant très-différente pour des dimensions égales, il a été de la plus haute importance de déterminer exactement leurs rapports de conductibilité. Les métaux sont ceux qui ont surtout été l'objet des recherches; nos connaissances quant aux solides non métalliques sont encore très-imparfaites, et les nombres en sont peu exacts.

Conductibilité des métaux.

L'ensemble des phénomènes que présentent les courants, semble prouver qu'ils suivent les mêmes lois, quelles que soient les sources dont ils émanent.

La conductibilité des métaux devra donc être la même, soit qu'on la détermine pour des courants électro-chimiques, soit pour des courants thermo-électriques, magnéto-électriques, électro-magnétiques, ou même les courants provenant de la machine électrique ordinaire ou de la bouteille de Leyde.

Les principaux physiciens qui se sont occupés de la détermination des facultés conductrices des métaux, sont :

MM. Davy pour des courants	électro-chimiques.
Harris.	id.
Christie.	par induction.
Cummingue	thermo-électriques.
Becquerel.	électro-chimiques.
Pouillet	électro-chimiques. thermo-électriques.
Ries.	électricité ordinaire.
Lenz	magnéto-électriques.

Comme terme de comparaison on a choisi la conductibilité du cuivre = 100.

Plusieurs de ces déterminations n'ont pas été faites en prenant les précautions nécessaires pour éloigner toute influence étrangère; ainsi par exemple, Harris employa la chaleur produite par le passage de l'électricité en admettant qu'elle est en raison inverse de la conductibilité; en supposant même que sa pile ait conservé constamment la même énergie (circonstance très-difficile à réaliser avec les anciens appareils) et que la conductibilité ne varie pas avec la température, il aurait encore dû tenir compte de la pesanteur spécifique et de la capacité pour la chaleur de ses fils métalliques. En effet, les conductibilités ne sont pas en raison inverse des températures des métaux, mais de ces températures multipliées par le produit, de la densité par la chaleur spécifique de chacun d'eux.

Il faut ensuite encore bien distinguer entre la chaleur totale développée dans les fils conducteurs et les températures thermométriques qu'ils indiquent par l'expérience; ces dernières pourront être très-différentes lorsque les premières sont égales; pour mieux rendre ma pensée, je supposerai qu'on décharge par des fils de même épaisseur, mais de longueur différente, par exemple :

De $148^{m},7$ pour argent,
$100^{m},0$ cuivre,
$88^{m},8$ or,
$15^{m},5$ platine,
$8^{m},8$ argentan,

un même courant; on trouvera des températures très-différentes pour chacun de ces fils, mais en les supposant plongés immédiatement après l'ouverture de la pile dans de la glace, on trouverait qu'ils en ont fondu exactement la même quantité.

Les expériences de M. Lenz semblent être faites en prenant le plus de précautions, et par conséquent les plus précises; elles ont, en outre, été faites à des températures différentes pour reconnaître les changements produits par la chaleur sur la conductibilité des métaux.

Nous avons réuni dans le tableau suivant les nombres trouvés par les différents observateurs pour les rapports des facultés conductrices des principaux métaux.

DAVY.	HARRIS.	CHRESTIE.
Ag = 109,0	Cu = 100,0	Ag = 152,0
Cu = 100,0	Ag = 100,0	Au = 110,0
Au = 73,0	Au = 66,7	Cu = 100,0
Pt = 18,0	Zn = 33,3	Zn = 52,2
Fe = 14,5	Pt = 20,0	Sn = 25,3
Pb = 6,9	Fe = 20,0	Pt = 24,0
	Sn = 16,0	Fe = 22,3
	Pb = 8,3	Pb = 12,4

CUMMINGUE.	BECQUEREL.
Ag = 176,5	Cu = 100,0
Cu = 100,0	Au = 93,6
Zn = 53,0	Ag = 73,6
Au = 35,0	Zn = 28,5

CUMMINGUE.		BECQUEREL.	
Fe =	24,0	Pt =	16,4
Sn =	23,9	Fe =	15,8
Pt =	21,6	Sn =	15,5
Pb =	16,8	Pb =	6,3
		Hg =	3,5
		K =	1,3

POUILLET.

1° *Courants électro-chimiques.*

Ag à 986	= 116
Cu	= 100
Ag à 948	= 88
Au	= 84
Ag à 800	= 77
Laiton	= 26
Fe	= 16
Or à 18 karats	= 15
Platine	= 13

2° *Courants thermo-électriques.*

Pd	= 151,0
Ag à 963	= 134,0
Ag à 900	= 123,7
Ag à 857	= 110,0
Ag à 747	= 101,0
Or pur	= 103,0
Cu pur	= 100,0
Cu recuit	= 101,0
Or à 951	= 34,84
Or à 751	= 18,59
Pt	= 22,26
Hg	= 2,6
Laiton	de 15,2 à 25,4
Acier fondu	de 13 à 20,8
Fer	de 15,6 à 18,2

RIESS.

Ag	= 148,74	Fe	= 17,66
Cu	= 100,00	Pt	= 15,52
Au	= 88,87	Sn	= 14,70
Cd	= 38,35	Ni	= 13,15
Laiton	= 27,70	Pb	= 10,32
Pd	= 18,18	Argentan	= 8,86

LENZ.

	à 0°	à 100°	à 200°
Ag	= 136,25	94,45	68,72
Cu	= 100,00	73,00	54,82
Au	= 79,79	65,20	54,49
Sn	= 30,84	20,44	14,78
Laiton	= 29,33	24,78	21,45
Fe	= 17,74	10,87	7,00
Pb	= 14,62	9,61	6,76
Pt	= 14,16	10,93	9,02

M. Lenz a en outre trouvé qu'il y avait pour chaque métal une température à laquelle sa conductibilité est un minimum, qui augmente de nouveau avec une augmentation ou diminution de température.

Il trouve ainsi pour

	Degrés Réaumur.		
Ag. le minimum à	310,05	=	59,00
Cu	359,00	=	43,70
Au	349,10	=	50,06
Sn	269,02	=	13,64
Laiton.	421,50	=	18,46
Fe	278,80	=	6,01
Pb	282,60	=	6,02
Pt.	295,30	=	8,41

Quant à la conductibilité des autres corps simples, on sait que le charbon compacte et bien calciné est bon conducteur de l'électricité, et que cette faculté augmente en l'exposant à des températures de plus en plus élevées, tandis que le charbon froid et non calciné est un non-conducteur presque parfait.

D'autres corps, tels que l'iode, etc., sont conducteurs à l'état liquide et isolants à l'état solide.

Pour les corps composés, M. Faraday avait établi comme loi générale qu'ils ne pouvaient être conducteurs qu'à deux conditions :

1° D'être à une température très-voisine de leur point de fusion;

2° D'être des électrolytes.

Cependant il trouva lui-même plus tard des corps tels que par exemple le fluorure plombique, qui pouvait conduire un courant sans être décomposé par lui, et on connaît plusieurs minéraux naturels qui jouissent également de cette propriété.

La connaissance de la conductibilité des corps, jointe à celle des lois des conducteurs, permet de calculer l'intensité d'un courant pour des conducteurs de longueur, de section et de conductibilité différentes, pourvu que la force électro-motrice et les deux autres résistances ne subissent aucune altération. Ces conditions sont difficiles à remplir pour les courants hydro-électriques ; elles le sont au contraire très-facilement pour les courants magnéto et thermo-électriques, dans lesquels il n'y a pas de liquides.

M. Pouillet a publié un travail étendu sur cette question, qui a confirmé pleinement les résultats d'Ohm et de Fechner, comme l'a très-bien démontré Henrici (*Annales de Poggendorf*, 53, 54). En représentant par t l'intensité d'un courant dont l, s et c sont la longueur, la section et la conductibilité du conducteur, et l', s', c', les sections correspondantes d'un second circuit, l'intensité pour ce circuit sera représentée par

$$x = t \times \frac{s'}{s} \times \frac{c'}{c} \times \frac{l}{l'}$$

M. Pouillet a de même calculé les formules générales de l'intensité d'un courant dans un urient simple et hétérogène, ainsi que celle des courants dérivés. Il entend par là ceux qui parcourent les communications secondaires adaptées soit aux pôles directement, soit entre deux points du conducteur primitif.

L'exemple suivant montre comment les formules de M. Pouillet se laissent déduire de celles d'Ohm :

$$\text{On a } F = \frac{A}{R + s} \text{ d'où } A = F\,(R + s).$$

Si l'on détermine F et R (cette dernière lettre représentant la somme des résistances des liquides et du passage) par expérience, ainsi que la nouvelle intensité I résultant de la suppression de s

$$\text{On a } I = \frac{A}{R} \text{ d'où } A = IR \text{ donc}$$

$$F\,(R + s) = IR \text{ d'où } F = \frac{IR}{R \times s}$$

En prenant n éléments, on aura

$$F_n = \frac{nA}{nR + s} \text{ d'où } F_n = \frac{nIR}{nR + s}$$

Mais si les éléments ne sont pas égaux, on aura pour chacun d'eux une valeur différente. Au lieu du produit nIR, il faudra mettre la somme des valeurs semblables, soit

$$f_1 r_1 + f_2 r_2 + f_3 r_3 + \ldots + f_n r_n$$

au dénominateur, au lieu du produit nR on aura la somme $r_1 + r_2 + r_3 + \ldots \times r_n$

$$F_n = \frac{f_1 r_1 + f_2 r_2 + f_3 r_3 + \ldots + f_n r_n}{r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n + s}$$

Mais si l'on a trouvé la valeur de f_1, f_2 etc., au moyen d'un multiplicateur, dont la résistance $= a$, de manière à ce que a se trouve dans toutes les valeurs de r_1, r_2, il faudra nécessairement retrancher

na au dénominateur, et la valeur de F_n observée avec ce même multiplicateur (ce qui fait ajouter sa valeur une fois au dénominateur) sera égale à

$$F_n = \frac{f_1 r_1 + f_2 r_2 + f_3 r_3 + \ldots + f_n r_n}{r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n - (n-1)a + s}$$

Lorsque deux points du conducteur solide (qui étaient unis par un conducteur dont la résistance égalait r_1) sont encore unis par $n-1$ autres conducteurs, dont les résistances respectives égalent r_2, r_3, r_4... on aura d'après la théorie pour la résistance totale R_t

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots + \frac{1}{r_n} \text{ ou}$$

$$R_t = \frac{r_1 r_2 r_3 \ldots r_n}{(r_2 r_3 \ldots r_n) + (r_1 r_3 \ldots r_n) + (r_1 r_2 \ldots) + \ldots + (r_1 r_2 r_3 \ldots r_{n-1})}$$

Représentons cette fraction par $\frac{m}{n}$ et mettons cette valeur dans la formule

$$I' = \frac{IR}{R + R_t} = \frac{IR}{R + \frac{m}{n}} = \frac{nIR}{nR + m}$$

Mais la somme des intensités des courants partiels dans les différents conducteurs doit être égale à l'intensité totale.

Appelons ces courants partiels q_1, $q_2 \ldots q_n$, on aura

$$I' = q_1 + q_2 + q_3 + \ldots + q_n$$

Mais chacun de ces courants partiels est proportionnel à la conductibilité ou en raison inverse des résistances, d'où

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{r_1}{r_2} \; \frac{q_3}{q^1} = \frac{r_1}{r_3} \ldots \frac{q_n}{q_1} = \frac{r_1}{r_n}$$

$$\text{donc } I' = q_1 \left(1 + \frac{r_1}{r_2} + \frac{r_1}{r_3} + \ldots + \frac{r_1}{r_n}\right)$$

$$I' = q_1 r_1 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots + \frac{1}{r_n}\right) = q_1 \cdot \frac{r_1 n}{m}$$

On en tire

$$q_1 = \frac{I'm}{r_1 n} = \frac{\frac{nIR}{Rn+m} \cdot m}{r_1 n} = \frac{NIR}{Rn+m} \cdot \frac{1}{r_1}$$

De même on aura

$$q_2 = \frac{nIR}{Rn+m} \cdot \frac{1}{r_2}$$

$$q_3 = \frac{nIR}{Rn+m} \cdot \frac{1}{r_3}$$

. . . . . .

$$q_n = \frac{nIR}{Rn+m} \cdot \frac{1}{r_n}$$

En appliquant ces formules générales au cas particulier de deux conducteurs.

$$R_1 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} = \frac{m}{n}$$

$$m = r_1 r_2$$

$$n = r_1 + r_2$$

Donc

$$I' = \frac{IR(r_1+r_2)}{R(r_1 r_2)+r_1 r_2}$$

$$q_1 = \frac{IRr_2}{R(r_1+r_2)+r_1 r_2}$$

$$q_2 = \frac{IRr_1}{R(r_1+r_2)+r_1 r_2}$$

Le dénominateur pouvant se mettre sous la forme

$$(R+r_1)(r_1+r_2)-r_1^2$$

On a

$$I' = \frac{IR(r_1+r_2)}{(R+r_1)(r_1+r_2)-r_1^2}$$

$$q_1 = \frac{IRr_2}{(R+r_1)(r_1+r_2)-r_1^2}$$

$$q_2 = \frac{IRr_1}{(R+r_1)(r_1+r_2)-r_1^2}$$

mais IR = A.

En mettant $A = F(R+s) = F(R+r_1)$, supposition permise en envisageant F comme le résultat de l'observation par la communication unique d'un conducteur dont la résistance $= r_1$, on peut transformer le résultat.

$$I' = \frac{F(R+r_1)(r_1+r_2)}{(R+r_1)(r_1+r_2-r_1^2} = \frac{Fr_1^2\left(\frac{R}{r_1}+1\right)\left(\frac{r_2}{r_1}+1\right)}{r_1^2\left(\frac{R}{r_1}+1\right)\left(\frac{r_2}{r_1}+1\right)-1}$$

$$I' = \frac{F\left(\frac{r_2}{r_1}+1\right)}{1+\frac{r_2}{r_1}-\frac{r_1}{R+r_1}}.$$

De même

$$q' = \frac{F(R+r_1)r_2}{(R+r_1)(r_1+r_2)-r_1^2} = \frac{F\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{1+\frac{r_2}{r_1}-\frac{r_1}{R+r_1}}$$

$$q'' = \frac{F(R+r_1)r_1}{(R+r_1)(r_1+r_2)-r_1^2} = \frac{F}{1+\frac{r_2}{r_1}-\frac{r_1}{R+r_1}}.$$

Mais la resistance d'un conducteur est égale à sa longueur divisée par sa conductibilité multipliée par sa section.

Donc $$R = \frac{L}{CS} \quad r_1 = \frac{l_1}{c_1 s_1} \quad r_2 = \frac{l_2}{c_2 s_2}$$

et représentons $$\frac{l_2}{l_1} = k, \quad \frac{c_1 s_1}{c_2 s_2} = p, \quad \frac{\frac{l_2}{c_1 s_1}}{\frac{L_1}{CS}+\frac{l_1}{c_1 s_1}} = n,$$

on aura

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{\dfrac{l_2}{c_2\, s_2}}{\dfrac{l_1}{c_1\, s_1}} = \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{c_1\, s_1}{c_2\, s_2} = kp$$

$$\frac{r_1}{R + r_1} = \frac{\dfrac{l_1}{c_1\, s_1}}{\dfrac{L}{CS} + \dfrac{l_1}{c_1\, s_1}} = n.$$

Les formules deviendront donc

$$I' = \frac{F\,(kp + 1)}{pk + 1 - n}$$

$$q_1 = \frac{F\,kp}{pk + 1 - n}$$

$$q_2 = \frac{F}{pk + 1 - n}.$$

On peut maintenant calculer l'intensité d'un courant formé par la réunion des pôles semblables de n éléments dissemblables, ce qui constitue une pile à surfaces très-larges, et dans laquelle chaque pile partielle forme une communication secondaire pour chacune des autres.

Les formules seront donc semblables. — On n'a qu'à substituer aux conducteurs partiels, des piles actives auxquelles reviennent les résistances r_1, r_2, $r_3 \ldots r_n$; et à la pile simple, un conducteur général dont la résistance $= R$; pour conserver les notations, on changera r_1, r_2, $r_3 \ldots r_n$ en R_1, $R_2 \ldots R_n$, et R en r, m en M, n en N.

I représentera dans ce cas l'intensité de chacune des piles partielles qui ont été ensuite réunies.

Donc

$$A_1 = I_1 R_1 \ldots\ A_2 = I_2 R_2 \ldots\ A_n = J_n R_n.$$

$$q_1 = \frac{I_1 M}{M + rN} \quad q_2 = \frac{I_2 M}{M + rN} \quad q_n = \frac{I_n M}{M + rN}$$

Comme le courant du conducteur général doit contenir la somme F_n des n courants partiels q_1, q_2.... on aura

$$F_n = (I_1 + I_2 + I_3 + \ldots + I_n) . \frac{R_1 R_2 R_3 \ldots R_n}{R_1 R_2 R_3 \ldots R_n + r(R_2 R_3 \ldots R_n + R_1 R_3 \ldots R_n + \ldots)}$$

On peut obtenir ce résultat d'une manière plus simple.

$F = \frac{A}{R + r}$ en réunissant n piles pareilles (surfaces excitantes), on aura

$$F_n = \frac{A}{\frac{R}{n} + r} = \frac{nA}{R + nr} = \frac{nIR}{R + rn} = \frac{nI}{1 + rn\frac{1}{R}}$$

Mais si ces n piles sont de valeurs différentes, il faudra au lieu de $n \times \frac{1}{R}$, la somme des valeurs partielles $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$ et au lieu de nI, la somme $I_1 + I_2 + I_3 + \ldots . I_n$, donc $F_n = (I_1 + I_2 + I_3 + \ldots . + I_n) . \frac{1}{1 + r\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}\right)}$ ce qui est identique avec la formule précédente de F_n : ou bien on peut, en partant de $F_n = \frac{nIR}{R + rn}$ multiplier numérateur et dénominateur par R^{n-1}

On aura

$F_n = \frac{nIR^n}{R^n + rnR^{n-1}}$ mais en remplaçant les produits par les sommes au lieu de nI on aura $I_1 + I_2 + I_3 + \ldots . + I_n$; au lieu de R^n, on aura $R_1 R_2 R_3 \ldots . R_n$; au lieu de nR^{n-1} la somme des n combinaisons $n - 1$ à $n - 1$ des n grandeurs $R_1 R_2 R_3 \ldots . R_n$, ce qui donne encore l'égalité voulue.

Si parmi ces n piles il y en a m égales, auxquelles correspondent les valeurs I_m et R_m, on aura, en supposant $I_1 + I_2 + I_3 + \ldots . + I_{n-m} + mI_m = P$ et $R_2 R_3 \ldots . R_{n-m} + R_1 R_3 \ldots . R_{n-m} + R_1 R_2 \ldots . R_{n-(m+1)} = S$.

$$F_n = \frac{P.R_1R_2....R_{n-m}R_m{}^m}{R_1R_2,...R_{n-m}R_m{}^m + r(SR_m{}^m + nR_1R_2....R_{n-m}R_m{}^{m-1})}$$

Lois du multiplicateur.

D'après la disposition de cet instrument, il est évident que l'action du courant augmentera en raison directe du nombre de tours que feront les fils conducteurs autour de l'aiguille magnétique; mais d'un autre côté, ce nombre de tours nécessitant une plus grande longueur de fil conducteur, occasionnera un courant d'une intensité d'autant plus petite, que la conductibilité sera moins parfaite; de manière, qu'en représentant par n le nombre de tours, par l la résistance d'un seul tour (résistance qui est proportionnelle à la longueur, et en raison inverse de la section et de la conductibilité), par r la résistance des autres parties de la pile, à l'exception du multiplicateur, on aura

$$F = \frac{nA}{nl + R}.$$

A la vérité, on suppose tous les tours du fil à égale distance de l'aiguille, ce qui n'a jamais lieu rigoureusement, mais la différence est assez petite pour pouvoir être négligée.

Cette formule permet d'examiner les circonstances dans lesquelles il faudra employer des multiplicateurs de construction différente, à fils métalliques d'un diamètre très-petit ou assez considérable faisant beaucoup ou peu de tours autour de l'aiguille.

Supposons d'abord R très-petit ou nul. Dans les trois cas qui peuvent se présenter.

$$A = l. \quad A > l. \quad A < l.$$

l'action du courant sera la même sur l'aiguille, qu'il n'y ait qu'un tour ou un très-grand nombre de tours; en effet, l'augmentation d'action sera toujours exactement compensée par l'affaiblissement du courant résultant de la longueur du fil conducteur.

Il faudra donc simplement chercher à rendre l aussi petit que possible, en choisissant un fil très-bon conducteur, et d'un diamètre aussi grand que possible.

Dans le cas où R est assez considérable, l'action augmentera avec le nombre des tours, mais non pas proportionnellement à ce nombre.

Si R est assez petit, on trouve de l'avantage à réduire le nombre des tours, et à rendre le fil plus gros, puisque par la construction même du multiplicateur, on n'a que l'alternative ou d'employer un fil très-mince et un grand nombre de tours, ou peu de tours et des fils plus gros.

Au contraire, plus R augmentera, plus on diminuera le diamètre du fil, et plus on en augmentera la longueur. Dans le cas où R est très-grand par rapport à l, l'action sera proportionnelle au nombre de tours, et ne dépendra que très-peu de l'épaisseur et de la nature du fil conducteur; on choisira donc, pour les multiplicateurs, des fils d'un très-petit diamètre, et on augmentera le nombre des tours autant que possible.

Les premiers cas sont ceux des courants thermo-électriques, les derniers ceux des courants hydro-électriques. Le choix d'un multiplicateur sera surtout important, lorsqu'il s'agit d'étudier les lois des variations qu'éprouvent les courants, soit par l'altération de la force électro-motrice, soit par celle des différentes résistances. En effet, suivant qu'on emploie tel ou tel multiplicateur, on peut rendre insensibles les variations de l'une des fonctions qui entrent dans l'expression de l'intensité du courant.

Pour choisir un exemple, nous supposerons que l'on veuille examiner les rapports qui existent entre les courants développés par l'action des liquides sur les solides.

Pour apprécier la force électro-motrice des différents cas, il faut se rendre indépendant de la résistance des liquides et de celle du passage. On y parvient facilement en rendant la somme de ces résis-

tances insensible par rapport à celle du conducteur solide. On emploiera donc un multiplicateur de fer ou de laiton aussi long que possible.

C. RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS LIQUIDES.

La résistance des conducteurs liquides d'une pile consiste non-seulement dans celle du liquide qui se trouve dans la cellule de décomposition, à laquelle aboutissent les électrodes, mais surtout encore dans celle du liquide excitateur qui se trouve dans les auges, entre les lames de cuivre et de zinc.

Elle est bien plus considérable que celle de métaux, ainsi que le prouvent les expériences de MARIANINI, de PFAFF, de FORSTEMANN, et surtout de M. POUILLET. Les résultats des trois premiers physiciens ne peuvent être considérés que comme des approximations, puisqu'ils ne se sont pas mis à l'abri des influences étrangères qui pouvaient les modifier; M. POUILLET, au contraire, en suivant l'une des méthodes indiquées par FECHNER (c'est-à-dire de remplacer le liquide par un fil de métal d'une longueur telle, que la force du courant ne fût pas changée), obtint des résultats très-exacts. Il trouva la conductibilité d'un fil de platine 2546680 fois plus grande que celle d'une colonne de solution saturée de sulfate cuivrique de même longueur et de même diamètre, et cette conductibilité elle-même 400 fois plus grande que celle de l'eau pure.

MARIANINI trouva que si la conductibilité de l'eau = 1, on a

L'alcool		= 0,3.
Solution	d'ammoniaque	= 26,4.
«	de soude caustique	= 32,6.
«	d'émétique	= 50,7.
«	de potasse caustique	= 55,6.
«	de carbonate sodique	= 69,2.
«	de sulfate sodique	= 74,0
«	de nitrate potassique	= 78,0

Solution	de sel marin	=	84,0.
«	d'acide acétique	=	87,0.
«	de sel ammoniac	=	150,0.
«	d'acide hydrochlorique	=	164,0.
«	d'acide sulfurique	=	239,0.
«	acide nitrique	=	358,0.
«	de chlorure de platine	=	418,0.

Parce que la résistance des liquides peut être remplacée par celle des solides, elle doit être soumise aux mêmes lois; en effet, toutes les expériences démontrent :

1° Que la résistance est proportionnelle à la longueur de la colonne de liquide, c'est-à-dire à l'écartement des deux plaques métalliques;

2° En raison inverse de la section du liquide, en admettant toutefois que les surfaces métalliques qui forment les deux extrémités de la couche de liquide, augmentent et diminuent avec cette section.

Quant à la nature même de cette conductibilité, l'opinion des physiciens est très-diverse. Les partisans de la théorie électro-chimique admettent en principe qu'un liquide ne peut être conducteur à moins d'être un électrolyte, et il ne peut être électrolysé ou décomposable que lorsqu'il est un composé binaire, formé d'un radical (corps négatifs, tels que chlore, oxygène, sulfan SO^4, nitran N^2O^6, etc.) et d'un basyle (corps analogues aux métaux, ammonium, etc.). Dans ces derniers temps, M. Faraday et quelques autres physiciens ont un peu restreint cette loi, en admettant que des courants très-faibles peuvent passer à travers un électrolyte liquide sans le décomposer. On sait d'ailleurs que l'état liquide est une condition indispensable pour que la décomposition par l'électricité puisse avoir lieu. Même les corps les plus facilement électrolysés à l'état liquide, tels que iodure potassique, chlorure argentique, ne le sont plus à l'état solide.

La règle générale, même restreinte, est soumise à de nombreuses

exceptions, dont la plupart ne sont qu'apparentes, mais dont quelques-unes sont aussi réelles.

Parmi ces dernières, nous citerons l'électrolysation des oxydes et sulfures d'antimoine, dont la composition Sb^2O^3 et Sb^2S^3 devrait empêcher toute décomposition.

Parmi les exceptions apparentes, il faut ranger les décompositions des acides sulfurique, nitrique, chlorique, de l'ammoniaque, de beaucoup d'acides organiques par le courant voltaïque; mais celles-ci sont le résultat de réactions secondaires.

La décomposition primaire était celle de l'eau que contiennent les substances citées, en hydrogène et oxygène. Mais ces deux éléments, mis ainsi en liberté à l'état naissant en présence de corps sur lesquels ils peuvent réagir, doivent donner naissance à des réactions chimiques, indépendantes du procès galvanique, et dont les résultats sont le soufre pour l'acide sulfurique, l'oxyde nitrique pour l'acide nitrique, etc., corps qui apparaissent aux électrodes contrairement à la loi de décomposition.

Il faut encore observer que la conductibilité des liquides ou leur électrolysation peut être rendue plus ou moins sensible, suivant que les pôles de la pile sont formés de métaux plus ou moins oxydables. Ainsi, par exemple, un liquide qui n'offre aucune trace de décompositon par des fils de platine, en peut donner par l'emploi de fils de cuivre, d'argent, et surtout d'étain ou de zinc.

Les lois de l'électrolysation et leurs rapports avec les équivalents chimiques sont trop connus pour qu'il soit nécessaire de s'y arrêter.

D. RÉSISTANCE DU PASSAGE.

Plusieurs physiciens, Ritter, Delarive, Marianini, avaient observé qu'en interceptant un liquide conducteur par des plaques métalliques homogènes, il en résultait une diminution dans l'intensité du courant; comme si l'électricité éprouvait de la difficulté de

passer des solides aux liquides et réciproquement. Mais ils l'expliquèrent par le fait déjà connu de la polarisation de ces métaux en sens contraire du courant primitif, qui devait nécessairement agir en affaiblissant celui-ci.

Mais plus tard Fechner démontra qu'il existait une résistance particulière indépendante de la polarisation, et ses expériences, très-exactes, furent confirmées par les travaux de Lenz et de Jacobi, et ceux plus récents de M. Poggendorf (*Ann.* de Poggendorf, 53, 54).

Nous citerons une expérience très-simple de M. Lenz, qui en indique l'existence d'une manière frappante.

Ce physicien observa d'abord que la force d'un courant passant par des conducteurs très-courts de cuivre ou de platine, se terminant par des plaques du même métal, était sensiblement la même lorsqu'on rapprochait les plaques des deux pôles de manière à les mettre en contact, car dans ce cas la différence de conductibilité des deux métaux formait une fraction si petite de la résistance totale, qu'elle devenait inappréciable. Mais si, au lieu de faire toucher les plaques, on les plaçait dans un vase rempli d'un liquide bon conducteur et exactement à la même distance, par exemple de trois millimètres, on obtint avec les plaques de platine une déviation de l'aiguille du multiplicateur de 9°, et avec les plaques de cuivre au contraire 47°. Dans les deux expériences toutes les conditions étaient restées les mêmes; même courant, même résistance des conducteurs solides et liquides, même surface des plaques, seulement, dans le premier cas, le courant passait du platine au liquide et de celui-ci au platine, et, dans le second cas, du cuivre au liquide et de celui-ci de nouveau au cuivre.

M. Poggendorf se servit, pour ses expériences du courant magnéto-électrique, produit par la machine de Saxton; le renversement alternatif, très-rapide de la direction du courant, procura le grand avantage de rendre les résultats indépendants de la polarisation et et de pouvoir à volonté obtenir un courant d'une intensité égale ou

plus ou moins fort. Comme dans ce cas spécial, l'emploi du multiplicateur était empêché, l'intensité du courant fut déterminée au moyen du thermomètre électrique à air de Riess.

Les résultats des expériences de ces trois physiciens sont :

1° Que la résistance du passage est en raison inverse de la surface des plaques métalliques ;

2° Qu'elle est en raison inverse de l'action chimique exercée par le liquide (ce fait montre pourquoi il y a une relation si intime entre la force d'un courant galvanique et l'acidité du liquide excitateur) ;

Il s'ensuit qu'elle est la plus grande pour les métaux les plus négatifs, tels que platine, cuivre, et qu'elle diminue beaucoup pour les métaux positifs, fer, zinc ;

3° Cette résistance ne se developpe que peu à peu sous l'influence du courant, mais elle existe déjà à son début;

4° Elle diminue avec la température ;

5° Elle dépend beaucoup de la surface des plaques métalliques.

Par l'action des liquides sur ces surfaces combinée à celle du courant, il se forme des dépôts, soit d'oxydes, soit de métaux à l'état pulvérulent, et c'est sous cet état que la résistance des surfaces métalliques est la moins considérable.

Ce fait est un de ceux qui servent à rendre compte des effets de la pile à courant constant de Daniel.

6° Elle augmente avec l'affaiblissement d'intensité du courant, et diminue avec son augmentation.

En effet, la résistance du passage aux différents points de la section du liquide ou de la surface métallique mouillée est en raison inverse de l'intensité du courant dans ces points.

Il s'ensuit que, si la section restant constante, on change l'intensité du courant, celle-ci diminue dans le même rapport aux différents points de la section et sera donc aussi en raison inverse de l'intensité du couraut.

Mais si la section est différente, tandis que l'intensité totale du

courant dans chacune d'elle reste constante, la résistance du passage est dans un rapport inverse avec la grandeur de la section, mais ce rapport est plus petit que le rapport simplement proportionnel.

7° Enfin, il n'existe pas de résistance du passage entre les corps solides.

La résistance du passage étant, dans beaucoup de piles, la partie principale de la résistance totale, il est évident qu'on peut produire un courant d'une même intensité, même avec une force électro-motrice moindre, en ayant soin de diminuer en même temps cette résistance du passage. C'est sur ces considérations que se base la substitution du fer ou de la fonte au cuivre dans les piles voltaïques.

Le fer étant moins négatif que le cuivre, produit à plaques égales et en même nombre une force électro-motrice moindre; mais, d'un autre côté, la résistance qu'il offre au passage est aussi considérablement moindre que celle du cuivre. En remplaçant donc les feuilles de cuivre par du fer ou de la fonte, on diminue à la fois le numérateur et le dénominateur de la fraction exprimant l'intensité du courant.

Or, l'expérience démontre que pour les piles de Faraday, simples ou modifiées, et pour les expériences ordinaires calorifiques, magnétiques et électriques, la diminution du dénominateur est plus grande proportionellement que celle du numérateur, et que par conséquent l'intensité du courant de la pile est augmentée. Il n'y a peut peut-être pas d'argument plus puissant contre la théorie chimique absolue que la pile de fonte et de zinc.

Mais par la nature même de l'expression du courant, cette pile sera moins applicable que la pile ordinaire de cuivre et zinc, toutes les fois qu'il s'agira de vaincre une très-grande résistance, par exemple la décomposition ou l'électrolysation d'un liquide peu conducteur.

Influence des surfaces excitantes.

On entend par surface excitante cette partie des plaques métalliques, qui est en contact avec le liquide conducteur. On peut faire varier cette surface soit en remplissant les auges des liquides à des hauteurs différentes, soit en réunissant les métaux semblables de plusieurs piles isolées.

Dans ces deux cas, la surface de la section du liquide augmente dans le même rapport, et par conséquent aussi la résistance du liquide et celle du passage diminuent dans ce même rapport.

Mais, on peut aussi faire varier la surface de manière à ce que la section du liquide reste une quantité constante. Pour cela on n'a qu'à placer dans une grande auge plusieurs plaques réunies par un conducteur métallique et à enlever successivement une ou plusieurs de ces plaques à la pile.

Soit s l'unité de surface, n le nombre par lequel s est multiplié, c une constante qui contienne la résistance du conducteur solide et celle du liquide dans le cas où la section reste invariable. On a alors

$$F = \frac{A}{\frac{s}{n} + c} = \frac{nA}{s + nc}.$$

Fechner a constaté, par une série d'expériences, l'exactitude de cette formule.

En la discutant pour les deux cas, où c très-petit et où c très-grand, on voit que dans le premier cas la force de la pile augmente presque proportionnellement avec l'étendue des surfaces, et la proportionnalité sera d'autant plus parfaite que c sera plus petit par rapport à s.

C'est ce qui a lieu pour un multiplicateur ordinaire dont les fils conducteurs n'ont pas une très-grande longueur, et dans les effets

de chaleur développés par la pile, lorsque le fil conducteur est très-court.

Dans le second cas, c'est-à-dire lorsque c est très-grand, l'augmentation de surface n'influe que très-peu sur le développement de la force de la pile, qui doit nécessairement arriver à une limite, d'autant plus rapidement que la résistance des conducteurs est plus grande. C'est ce qui a surtout lieu dans les décompositions chimiques; la résistance des conducteurs et du passage étant alors très-grande, l'augmentation de surface n'est que de peu d'influence. D'après Marianini l'intensité du courant est proportionnelle à la surface des éléments, quelle que soit la force de la pile, tandis que d'autres physiciens ont trouvé que l'augmentation d'intensité croît dans un rapport plus grand que celui de la surface, lorsque le courant est faible.

La valeur de F étant formée de plusieurs éléments que les physiciens cités n'ont pas eu la précaution de séparer pour examiner l'action de la variation d'un seul d'entre eux, il est facile de concevoir, d'après ce que nous avons dit plus haut, qu'on ait obtenu des résultats différents dans des circonstances qui n'étaient pas parfaitement identiques sous tous les autres rapports.

Ayant ainsi parcouru les principales circonstances à considérer dans la formation d'un courant hydro-électrique, il nous reste à considérer encore une cause qui tend puissamment à affaiblir le courant.

On n'en fait pas entrer l'expression parmi les éléments de la pile, d'abord parce qu'elle ne se développe que par l'action même du courant, parce qu'elle dépend d'une foule de circonstances accessoires, qui proprement sont indépendantes de celles qui constituent l'expression d'un courant, et enfin parce que ses relations avec le courant principal sont encore peu connues.

Cette cause d'affaiblissement, c'est la polarisation des surfaces métalliques par l'action d'un courant secondaire, développé en sens inverse par un courant primitif.

On sait surtout, par les belles recherches de M. Faraday sur les phénomènes d'induction, qu'un courant, allant dans un sens, tend toujours à exciter dans un conducteur très-rapproché un courant analogue, mais allant dans un sens différent. Ce courant est le courant secondaire ou d'induction. Mais ce qui a lieu pour un circuit galvanique très-rapproché, a lieu dans le circuit même, et le courant de la pile doit développer dans cette pile même un courant en sens contraire qui affaiblira le courant primitif, à moins que par la disposition de la pile ce courant secondaire soit continuellement détruit par des réactions secondaires et empêché ainsi d'affaiblir le courant primitif.

Par l'action réciproque du liquide excitateur sur les surfaces métalliques et par la décomposition en ses éléments positifs et négatifs, l'élément positif se rendra vers la plaque de cuivre, l'élément négatif vers la plaque de zinc.

La plaque négative n'étant pas affectée par le corps qui s'y dégage, par exemple l'hydrogène, il y aura une accumulation plus sensible que sur la plaque de zinc, et par conséquent formation d'une tension contraire très-sensible. Cette tension sera d'autant plus grande que le cuivre présente une résistance de passage et de conductibilité plus grande, puisque le courant secondaire croît proportionnellement à cette résistance (c'est la raison pour laquelle il peut devenir si intense dans les piles sèches, au point de neutraliser en très-peu de temps et d'une manière complète le courant primitif).

On le prouve facilement en remuant le liquide excitateur près de la plaque de cuivre, l'intensité du courant est sur-le-champ augmentée considérablement; la même opération près de la plaque de zinc ne produit presqu'aucun changement. On peut concevoir d'après cela pourquoi dans les piles à auges on a avantage d'augmenter la surface du cuivre, puisqu'avec cette augmentation diminue sa résistance. Cette tension contraire permet également d'expliquer le rétablissement de l'intensité primitive de la pile, lorsqu'elle a été très-

affaiblie, en interrompant les communications entre les deux pôles. Alors peu à peu les tensions contraires, accumulées aux surfaces métalliques, peuvent se réuuir dans le conducteur de liquides et se détruire par cette combinaison En rétablissant les conducteurs, le courant de la pile sera très-énergique au premier instant, mais il diminuera bientôt de nouveau par le rétablissement des tensions contraires.

Dans les piles voltaïques d'ancienne construction, piles à colonnes, piles à auges, piles de Wollaston, etc., les dispositions étaient extrêmement favorables à la production de ces tensions contraires. Aussi était-il impossibie d'obtenir un courant tant soit peu uniforme. Même les appareils les plus puissants perdirent en peu de temps presque la totalité de leur énergie.

Dans les piles de construction récente, pile de Faraday, de Growe, etc., cette polarisation est empêchée autant que possible, le liquide y circule avec facilité, les plaques sont aussi rapprochées que possible, et même le dégagement d'hydrogène sert à mélanger le liquide et à empêcher la tension surtout au pôle négatif.

Il nous reste maintenant à examiner quel doit être, d'après l'examen de l'expression de l'intensité d'un courant, l'action des différents éléments qui constituent une pile hydro-électrique.

RELATION ENTRE LE NOMBRE DES ÉLÉMENTS D'UNE PILE VOLTAÏQUE ET LA FORCE DU COURANT PRODUIT.

Nous avons déjà vu que la force du courant était représenté par

$$F = \frac{A}{R} \text{ ou en développant } F < \frac{A}{s + l + p}.$$

En combinant plusieurs éléments d'après le principe de la pile on introduit dans la foction F des valeurs qui tendent d'un côté à l'augmenter et de l'autre à la diminuer.

L'augmentation provient de ce que A est multiplié par le nombre des éléments employés, en supposant toutefois qu'ils soient entièrement semblables et d'une égale force électro-motrice.

La diminution provient de ce que l'introduction des nouveaux éléments produit en même temps une augmentation correspondante des résistances des liquides et du passage.

Il n'y a donc qu'une seule partie, la résistance du conducteur solide (y compris celle des liquides interposés dans ce conducteur solide, comme par exemple dans le cas de décompositions chimiques) qui reste invariable, et comme elle est une fonction du dénominateur, il s'ensuit que par l'augmentation des éléments, le numérateur croît dans un rapport plus rapide que le dénominateur, et par conséquent la force totale du courant galvanique devra aussi augmenter.

En donnant à s des valeurs bien différentes de la somme $(l+p)$, nous arrivons directement aux conséquences suivantes :

1° Si s est très-petit (comme par exemple dans les multiplicateurs, les conducteurs très-courts), de manière qu'il est presque nul en comparaison de $(l \times p)$, la force de la pile n'augmentera presque pas par l'augmentation des éléments ;

2° L'action de la pile augmente dans un rapport moindre que le nombre des éléments et tend à atteindre un maximum qu'elle ne peut dépasser. La proportionnalité sera d'autant plus juste, et le maximum d'autant plus éloigné que s est plus grand par rapport à $(l+p)$.

Or, comme c'est au commencement de l'action de la pile que le liquide acide est le plus conducteur, donc l très-petit, et que la résistance du passage est presque nulle, mais qu'elle augmente avec la durée de l'action galvanique, il s'ensuit que c'est surtout dans les premiers instants que la force du courant dépend du nombre des éléments et qu'elle doit diminuer très-rapidement avec le temps de la durée de l'action (Fechner, *Maasbest.*, 65—72).

La force totale du courant sera donc représentée par

$$F = \frac{nA}{n(l+p)+s}.$$

M. Delarive avait publié dans un travail sur la pile, qu'en augmentant le nombre des éléments, on atteignait toujours un maximum d'effet, au delà duquel l'action de la pile s'affaiblissait, et qu'en introduisant un élément plus faible que les autres, l'action totale était correspondante à cet élément plus faible.

M. Walker a répété ces expériences avec une pile d'après le système de Daniel pour avoir une action constante. Son Zn plongeait dans une solution de Cl^2 Na, le Cu dans une solution de $\dot{S}$ Cu et des cylindres de carton séparaient les deux liquides (*Annales of electricites*, VIII, 421).

Il y avait en tout 160 éléments répartis en huit groupes, composés chacun de vingts éléments.

Il trouva dans une série d'expériences :

Paires d'éléments	20	40	60	80	100	120	140	160
1. Temps pour dégager un pouce cube de gaz.	42"	35"	33"	30"	28"	27"	28"	28"
2. id.	37"	35"	35"	33"	33"	33"	32"	31"
3. Pour 1 1/2 p. c.	300"	230"	210"	155"	95"	85"	50"	40"

N° 1 donne un maximum, le liquide était de l'eau pure.

N° 2 n'en donne pas; le liquide était de l'eau très-légèrement acidulée. Il est à remarquer que dans cette série l'action augmentait plus lentement que dans la précédente.

N° 3 point de maximum; eau plus fortement acidulée. Augmentation rapide d'action.

Les considérations précédentes permettent de se rendre facilement compte du résultat obtenu en augmentant le nombre des éléments.

Soient a, a', a'', a''', a'''', les forces électro-motrices (ou, en d'autres termes, la quantité d'électricité, qui dans l'unité de temps passe par chaque section, en faisant communiquer ces éléments isolément.

Soit r, r', r'', r''', r'''' les résistances des éléments (y compris le fil communicateur) et Z la résistance de l'élément passif (qui est ou

la cellule de décomposition, le thermomètre, le multiplicateur, etc., on aura

$$F = \frac{a + a' + a'' + a''' + a^{\text{IV}} \ldots}{r + r' + r'' + r''' + r^{\text{IV}} \ldots + Z}$$

Il en résulte que F augmentera ou diminuera selon que $\frac{e'''}{r'''}$, $\frac{e^{\text{IV}}}{r^{\text{IV}}}$, etc., seront aussi grands (ou plus grands) ou plus petits que $\frac{e}{r}$, $\frac{e'}{r'}$, etc., et qu'en outre la valeur de z, suivant qu'elle est grande ou petite par rapport à la somme $r + r' + r''$, etc., sera d'une influence plus ou moins grande.

Si parmi ces fractions $\frac{e}{r}$ est un maximum et $\frac{e^{\text{IV}}}{r^{\text{IV}}}$ un minimum, et si le nombre des éléments $= n$, la valeur de F sera comprise entre

$$\frac{na}{nr + z} \text{ et } \frac{na^{\text{IV}}}{nr^{\text{IV}} + z},$$

et elle ne peut atteindre ces deux limites que lorsque tous les éléments sont égaux à $\frac{a}{r}$ ou à $\frac{a^{\text{IV}}}{r^{\text{IV}}}$.

La conséquence immédiate en est que la force du courant ne peut pas correspondre à la valeur de l'élément le plus faible $\frac{a^{\text{IV}}}{r^{\text{IV}}}$.

Walker, en unissant ses 8 groupes par des poles semblables, forma une pile de 20 éléments, mais d'une surface 8 fois plus grande et d'une épaisseur 8 fois plus grande des fils communicateurs qui plongeaint dans deux vases remplis de mercure, et de là communiquaient avec un voltamètre.

Il obtint maintenant 4 1/2 fois plus de gaz qu'auparavant avec la même batterie, mais disposée en cent soixante éléments simples.

La théorie est encore parfaitement d'accord avec ce résultat :

$$\text{Soit } F = \frac{160a}{160R + z} \text{ dans la première pile.}$$

Le courant réuni de 8 piles à 20 éléments est égal au courant d'une seule pile de 20 éléments, à surface 8 fois plus grande et épaisseur de fils communicateurs également 8 fois plus grande.

D'après la formule, pour l'augmentation des surfaces, on a

$$F' = \frac{20a}{20 + \frac{1}{8}r + z} \text{ ou } \frac{160a}{20r + 8z}$$

$$F : F' :: 20r + 8z : 160r + z.$$

Le rapport dépend donc tout à fait des valeurs réciproques de r et de z.

Si $z = 20r$, ce qui a lieu facilement lorsque dans la cellule à décomposition il y a de l'eau pure ou peu acidulée, tandis que dans les auges il y a une solution saline ou un acide.

$$\text{Alors } F = F'.$$

Si z augmente F' diminue.

Si z diminue F' augmente.

Si $z = r$.

$F = \frac{161}{28} F = 5,75\ F$, ce qui est le cas ordinaire et celui de la pile de M. Walker.

Qu'il nous soit permis de citer encore un exemple qui montre d'une manière frappante comment, dans des circonstances un peu différentes, le courant de 2 piles peut paraître tantôt plus grand, tantôt plus petit, l'un par rapport à l'autre (*Pogg., Ann.*, 48 p. 49).

M. Jacobi, dans une de ses expériences, recueillit avec une pile de 10 éléments 5148 centimètres cubes de gaz dans un voltamètre, en ajoutant encore un élément, la nouvelle pile de 11 éléments dans le même temps ne produisit que 4920 centimètres cubes.

Donc la force totale de la seconde pile était plus faible que celle de la première. Ceci s'explique facilement en admettant que le onzième élément agissait avec très peu d'énergie. Mais ce qui paraît surprenant au premier abord, c'est qu'en intercalant la boussole de tangence, tout le reste étant conservé intact, la pile de 10 éléments fournit 2640 centimètres cubes et une déviation de 40°,51′, la pile de 11 éléments, au contraire, 2775 centimètres cubes et une déviation de 42°,13′.

Donc cette fois-ci la seconde pile était plus forte que la première.

La considération des résistances dans le dénominateur de l'expression de la force du courant fournit une explication parfaite de ce résultat.

Soit A = force électro-motrice d'un élément.

1 la résistance totale de la pile à 10 éléments + le voltamètre, x la résistance de l'onzième élément, et y celui de la boussole de tangence.

On a pour le premier cas :

$$\frac{10\,A}{1} = 5148 \text{ et } \frac{11\,A}{1+x} = 4920, \text{ d'où } x = 0,15.$$

Dans le second cas :

$$\frac{10\,A}{1+y} = 2640 \text{ et } \frac{11\,A}{1,15+y} = 2775, \text{ d'où } y = 2,19.$$

(Dans les autres expériences cette valeur de y se trouva confirmée.)

Il en résulte que pour produire ce résultat il a fallu que la résistance du onzième élément fût plus grande que 1/7 de la somme des résistances, de la pile de 10 éléments, plus du voltamètre.

FIN.